

STUDI PERBAIKAN JATUH TEGANGAN DAN RUGI-RUGI DAYA PADA PENYULANG GTC (*GLOBAL TRADE CENTRE*) MAKASSAR.

Thalib Bini, Ruslan L¹⁾, Azalia Bakhtiar, Saidah Syahyani²⁾

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada penyulang GTC dan upaya perbaikan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Data yang didapatkan diolah dan dihitung secara manual (Excel) dan disimulasikan menggunakan *Software* ETAP *Powerstation* 4.0.0. Hasil penelitian menunjukkan jatuh tegangan terjadi pada 3 buah gardu yang paling jauh dari titik beban yaitu GT.BGC031 625,68 V atau 3,128 %, BGTC_03 sebesar 623,92 V atau 3,120 %, dan yang terbesar GB.UJBH 626,93 V atau 3,135 %. Rugi-rugi daya pada GT.BGC031 adalah 118001,50 Watt atau sebesar 1,983 %; BGTC_03 sebesar 117975,32 Watt atau 1,982 % dan rugi-rugi daya terbesar terjadi pada gardu GB.UJBH sebesar 118059,73 Watt atau 1,984 %. Dengan melakukan pergantian penghantar kawat AAAC menjadi 240 mm² dan kabel XLPE menjadi 300 mm², maka jatuh tegangan untuk gardu BGTC_03 berkurang hingga 193 V, gardu GT.BGC031 berkurang 193,47 V, gardu GB.UJBH berkurang 193,8 V. Rugi-rugi daya pada gardu BGTC_03 berkurang hingga 52400,88 W, gardu GT.BGC031 berkurang 52410,79 Watt, gardu GB.UJBH berkurang 52432,82 Watt.

Kata kunci: Gardu Induk, Penyulang, Jatuh tegangan, Rugi-rugi daya

PENDAHULUAN

Penyaluran energi listrik dari sumber tenaga listrik ke konsumen yang letaknya berjauhan sering kali menyebabkan terjadinya kehilangan energi atau rugi - rugi daya (*losses*) dan jatuh tegangan. PT PLN (Persero) sebagai pemasok energi listrik dituntut untuk memberikan pelayanan energi listrik yang optimal sesuai dengan kebutuhan para konsumen. Selain itu, untuk mewujudkan suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan $\pm 5\%$ dari nilai nominalnya. Nilai tegangan yang konstan akan mengoptimalkan unjuk kerja dari peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen.

Sedangkan rugi-rugi daya yang kecil akan

menjaga pasokan energi listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen, serta dapat mengurangi kerugian finansial yang terjadi selama proses transmisi dan distribusi. Pada PT PLN (Persero) Area Makassar terdapat 3 (tiga) rayon yang memiliki jumlah susut yang besar yaitu, PT PLN (Persero) Rayon Barat, Rayon Selatan, dan Sungguminasa. Melihat hal tersebut, penulis mengambil sampel penelitian di Rayon Barat dengan jumlah susut sebesar 15,09 % dengan rincian 3,75% susut teknis dan 11,34 % susut non teknis. Rayon Barat membawahi 3 (tiga) GI (Gardu Induk) salah satunya adalah GI Tanjung Bunga. Pada GI Tanjung Bunga ini penulis mengambil sampel penyulang GTC dengan panjang penyulang 22,05 kms dengan beban sebesar 132 A, disebabkan daya yang terpakai sangat besar, sehingga

¹⁾ adalah dosen ²⁾ Alumni Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jl. Perintis Kemerdekaan Km.10, Tamalanrea Makassar 90245

memungkinkan terjadinya jatuh tegangan dan rugi-rugi daya.

penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang dengan tegangan menengah 20 Kv dan menjelaskan metode untuk memperbaiki jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang timbul pada penyulang GTC dengan tegangan menengah 20 kV tersebut.

A. Sistem tenaga listrik

Sistem tenaga listrik merupakan kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem.

B. Saluran bawah tanah dan saluran udara

Berdasarkan pemasangannya, saluran distribusi dibagi menjadi dua kategori, antara lain: saluran udara (*overhead line*) yang merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kawat penghantar yang

ditopang pada tiang listrik dan saluran bawah tanah (*underground cable*) yang merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kabel-kabel yang ditanamkan di dalam tanah.

i. Saluran bawah tanah (Underground Lines)

Bahan untuk saluran bawah tanah pada umumnya terdiri atas tembaga dan aluminium. Isolasi yang dipergunakan berupa bahan-bahan kertas serta pelindungan mekanikal berupa timah hitam. Untuk tegangan menengah sering juga dipakai minyak sebagai isolasi.

Pada saat ini bahan isolasi buatan berupa PVC (*Polyvinyl Chloride*) dan XLPE (*Cross-Linked Polyethylene*) telah berkembang dengan pesat dan merupakan bahan isolasi yang andal. Karena kabel berisolasi bahan buatan lebih murah, sangat andal dan penggunaannya juga lebih mudah, Pada table berikut merupakan tabel impedansi jenis penghantar XLPE menurut SPLN 64 Tahun 1985.

Tabel 1. Impedansi penghantar JTM jenis XLPE

A (mm²)	R (Ω/km)	L (mH/km)	C (mf/km)	Impedansi urutan positif (Ω/km)	Impedansi urutan Nol (Ω/km)
150	0,206	0,33	0,26	0,206 + j 0,104	0,356 + j 0,312
240	0,125	0,31	0,31	0,125 + j 0,097	0,275 + j 0,029
300	0,100	0,30	0,34	0,100 + j 0,0094	0,250 + j 0,282

ii. Saluran udara (*Overhead Lines*)

Saluran udara biasanya digunakan pada pemasangan di luar bangunan, diregangkan pada isolator-isolator di antara tiang-tiang yang disediakan secara khusus untuk maksud tertentu. Bahan yang banyak dipakai untuk kawat penghantar terdiri atas kawat tembaga telanjang BCC (*Bare Copper Cable*) aluminium telanjang (AAC atau *All Aluminium Cable*), campuran yang berbasis aluminium (Al-Mg-Si), aluminium berinti baja (ACSR atau *Alluminium Cable Steel Reinforced*) dan

kawat baja yang diberi lapisan tembaga (*Copper-weld*).

Secara teknis, bahan tembaga lebih baik dibandingkan aluminium, karena memiliki daya hantar arus yang lebih tinggi. Namun karena harga tembaga yang tinggi, pemakaian kawat aluminium menjadi lebih banyak dipakai. Kawat tembaga sering menjadi sasaran pencurian karena dapat diolah untuk pembuatan barang-barang lain yang laku di pasaran. Pada tabel 2 merupakan tabel impedansi jenis penghantar AAAC menurut SPLN 64 Tahun 1985.

Tabel 2. Impedansi penghantar JTM jenis AAAC

Luas Penampang (mm ²)	Jari-jari (mm ²)	Urut	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (Ohm / km)	Impedansi urutan Nol (Ohm / km)
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
16	2,2563	7	1,6380	2,0161 + j 0,4036	2,1641 + j 1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903 + j 0,3895	1,4384 + j 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217 + j 0,3790	1,0697 + j 1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452 + j 0,3678	0,7932 + j 1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608 + j 0,3572	0,6088 + j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3096 + j 0,3449	0,4876 + j 1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688 + j 0,3376	0,4168 + j 1,6324
150	6,9084	19	5,2365	0,2162 + j 0,3305	0,3631 + j 1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744 + j 0,3239	0,3224 + j 1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344 + j 0,3158	0,2824 + j 1,6034

iii. Perhitungan arus beban pada transformator distribusi

Daya transformator distribusi bila ditinjau dari sisi tegangan menengah/sisi primer dapat dirumuskan sebagai berikut:

- a. Daya transformator 3 fasa

$$S = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \dots\dots\dots(1)$$

- b. Daya tranformator 1 fasa

$$S = V_{LN} \times I \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

S = Daya terpakai transformator (kVA)

V_{LL} = Tegangan fasa - fasa (kV)

V_{LN} = Tegangan fasa – netral (kV)

I = Arus beban (A)

Dengan demikian, untuk menghitung arus beban transformator dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

- a. Arus beban transformator 3 fasa

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \dots\dots\dots(3)$$

- b. Arus beban tranformator 1 fasa

$$I = \frac{S}{V_{LN}} \dots\dots\dots(4)$$

iv. Rugi-rugi teknis pada jaringan distribusi

Dalam merencanakan sistem distribusi tenaga listrik sangat diperlukan adanya pedoman untuk menetapkan suatu kriteria bagi perencanaan saluran udara tegangan menengah dan tegangan rendah. Desain kriteria ini akan menjadi rujukan dalam mendesain sebuah sistem distribusi tenaga

listrik, mulai dari SUTM, transformator, JTR maupun SR.

Berdasarkan SPLN 72 tahun 1987 dapat didesain sebuah Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan kriteria jatuh tegangan sebagai berikut:

1. Jatuh tegangan spindel maksimum 2%
2. Jatuh tegangan *open loop* dan radial maksimum 5%.

Untuk mendesain jaringan dengan pertimbangan susut jaringan, maka susut jaringan maksimum yang diijinkan:

1. Susut maksimum Spindel maksimum 1%.
2. Susut maksimum *open loop* dan radial maksimum 2,3%.

Untuk mengetahui besar jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi maka diperlukan perhitungan dengan menggunakan formula sebagai berikut:

a. Jatuh tegangan

Kadir (2000), menyatakan bahwa jatuh tegangan didefinisikan sebagai selisih tegangan pada ujung pengirim dan tegangan pada ujung penerima.

Besarnya jatuh tegangan pada jaringan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta V = V_s - V_r \dots\dots\dots(5)$$

$$\Delta V = I \cdot R_s + j I \cdot X_s \dots\dots\dots(6)$$

$$\Delta V = I(R_s + jX_s) \dots\dots\dots(7)$$

Nilai jatuh tegangan pada saluran besarnya sebanding dengan arus dan impedansi penghantar serta faktor daya beban.

$$\Delta V = I L (r \cos \theta + x \sin \theta) \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

ΔV = Jatuh tegangan (V)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

r = Tahanan (resistansi) penghantar (Ω / km)

x = Reaktansi penghantar (Ω / km)

$\cos \theta$ = Faktor daya beban

L = Panjang penghantar (km)

V_{L-L} = Tegangan fasa-fasa (kV)

Maka untuk perhitungan besar jatuh tegangan pada saluran distribusi primer untuk sistem tiga fasa adalah:

$$\Delta V = \sqrt{3} IL(r \cos \theta + x \sin \theta) \dots \dots \dots (9)$$

Besarnya jatuh tegangan pada saluran distribusi dihitung dengan:

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{L-L}} \times 100\%$$

$$\dots \dots \dots (10)$$

b. Rugi-rugi daya

Kurt (1990) dalam Waluyo (2007), mengatakan bahwa arus yang mengalir pada penghantar dengan resistansi akan menyebabkan terjadinya rugi-rugi pada penghantar tersebut, sehingga daya yang dikirim dari Gardu Induk ke konsumen akan berkurang. Besarnya rugi-rugi daya pada

penghantar untuk setiap fasanya dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta P = I^2 \cdot L \cdot r \dots \dots \dots (11)$$

Sedangkan rugi-rugi daya pada saluran 3 fasa yaitu:

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot L \cdot r \dots \dots \dots (12)$$

Besar persentase rugi-rugi daya pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan:

$$\% \Delta P = \frac{\Delta P}{P_{TM}} \times 100\% \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan:

ΔP = Rugi-rugi daya pada saluran (Watt)

I = Arus yang mengalir (A)

L = Panjang penghantar (km)

r = Tahanan saluran (Ω /km)

P_{TM} = Daya pada tegangan menengah (Watt)

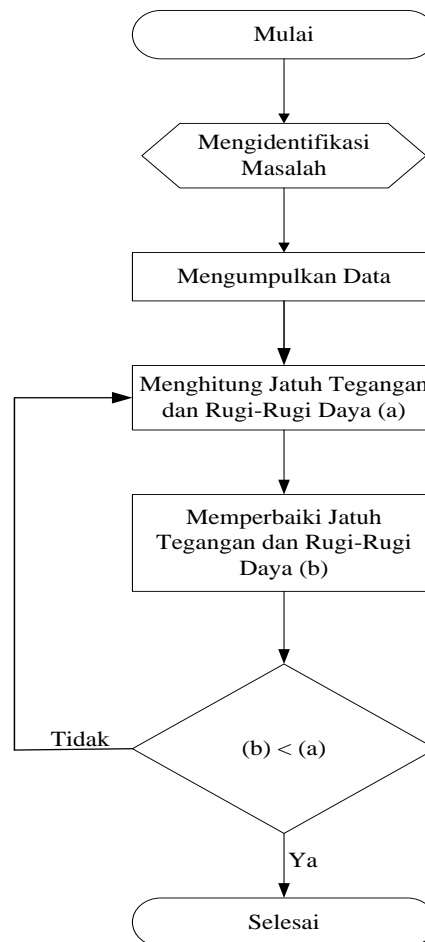
Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif dan

simulasi. Data-data jaringan distribusi yang telah penulis dapatkan, dihitung dan kemudian disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak ETAP *Power Station* versi 4.0.0. Dari hasil simulasi tersebut penulis dapat menganalisa permasalahan yang ada, serta memperbaiki jatuh tegangan dan rugi-rugi daya dengan melakukan pergantian penghantar pada penyulang.

berikut merupakan gambar dari prosedur

penelitian yang penulis terapkan untuk tulisan ini:



Gambar 1. Flowchart prosedur penelitian

Hasil dan Pembahasan

Jaringan yang digunakan pada Tugas Akhir ini merupakan jaringan distribusi 20 kV pada Gardu Induk (GI) Tanjung Bunga. Penyulang yang disimulasikan adalah penyulang GTC yang menyuplai 41 buah Gardu Distribusi. Data beban transformator berdasarkan data pengukuran beban puncak malam dari PT PLN (Persero) Rayon Makassar Barat.

Arus beban puncak yang terjadi pada bulan Mei 2015 sebesar 216 A, tegangan 20 kV, frekuensi 50 Hz, faktor daya 0,95 *lagging*, dengan total daya yang disalurkan sebesar 5951,529 kW.

Panjang saluran 13,14 kms, dengan kawat penghantar 3x240 mm² dan 3x150 mm² jenis *Cross-Linked Polyethylene* (XLPE) untuk saluran bawah tanah. Untuk saluran udara digunakan jenis penghantar *All*

Aluminium Alloy Conductor (AAAC) 3x150 mm², 3x70 mm² dan 3x35 mm².

Data kapasitas dan pembebanan transformator pada penyulang GTC diambil pada saat beban puncak malam pada pukul 18.30-20.00, dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini. Beban (kVA) pada tabel 3

digunakan untuk menghitung arus (A) yang mengalir pada penghantar. Beban (kVA) merupakan hasil perkalian dari beban transformator (%) dengan kapasitas transformator (kVA).

Tabel 3. Kapasitas dan beban transformator pada penyulang GTC

No	Kode gardu	Kapasitas transformator (kVA)	Beban transformator (%)	Beban (kVA)
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
1	GT. BGC001	160	21.93	35.09
2	GT. BGC003	100	99.24	99.24
3	GT. BGC002	100	131.61	131.61
4	GT. BGC006	160	65.41	104.66
5	GT. BGC007	250	35.90	89.75
6	GT. BGC008	250	38.56	96.40
7	GT. BGC035	100	96.70	96.70
8	GT. BGC036	160	113.11	180.98
9	GT. BGC009	160	78.47	125.55
10	GT. BGC010	160	132.78	212.45
11	GT. BGC011	160	119.59	191.34
12	GH. GTC	2000	28.85	577.00
13	GH. GTC	2000	32.25	645.00
14	GT. BGC012	100	78.66	78.66
15	GT. BGC013	100	50.32	50.32
16	GT. BGC014	100	100.78	100.78
17	GT. BGC037	200	104.69	209.38
18	GT. BGC015	160	91.11	145.78
19	GT. BGC047	160	80.88	129.41
20	GT.	400	64.48	257.92

	BGC017			
21	GT. BGC018	315	111.03	349.74
22	GT. BGC019	160	105.87	169.39
23	GT. BGC038	250	86.08	215.20
24	GT. BGC020	160	88.52	141.63
25	GT.BGC022	315	52.23	164.52
26	BGTCM_01	200	78.00	156.00
27	GT. BGC023	200	80.84	161.68
28	GT. BGC024	250	90.14	225.35
29	GT. BGC046	160	25.63	41.01
30	GT. BGC025	315	100.47	316.48
31	GT. BGC040	100	58.21	58.21
32	GTBGC042	100	101.49	101.49
33	GT. BGC028	160	34.51	55.22
34	MC. BGC026	200	96.88	193.76
35	GT. BGC027	400	74.49	297.96
36	GB. UJBH	400	104.49	417.96
37	GB. BGC032	400	56.03	224.12
38	GT. BGC033	160	74.84	119.74
39	BGTC03	50	32.10	16.05
40	GT. BGC029	250	55.18	137.95
41	GT. BGC031	315	95.98	302.34

Pada tabel 4 merupakan panjang dan jenis penghantar yang digunakan pada penyulang GTC. Penghantar yang digunakan adalah kawat saluran udara (*Overhead Line*) jenis AAAC dan kabel tanah (*Underground Line*) jenis XLPE (*Cross-Linked Polyethylene*), data jenis penghantar dan panjang serta luas penampang penghantar akan memudahkan

dalam menghitung jatuh tegangan serta rugi-rugi daya yang terjadi.

Tabel 5. Jenis dan panjang jaringan pada penyulang GTC

No	Kode Titik		Panjang Penghantar (km)	Penghantar	
	Dari	Ke		Jenis	Luas (mm ²)
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
1	GI	Tiang Pertama GI	0.05196	XLPE	240
2	Tiang Pertama GI	J1	0.85858	AAAC	240
3	J1	J2	0.03753	AAAC	150
4	J2	J3	0.30098	AAAC	240
5	J3	C1	0.51849	AAAC	150
6	C1	GT.BGC001	0.22848	AAAC	150
7	C1	J4	0.14695	AAAC	150
8	J4	C2	0.38308	AAAC	240
9	C2	GT.BGC003	0.19325	AAAC	35
10	C2	GT.BGC002	0.03517	AAAC	35
11	GTBGC002	C3	0.04344	AAAC	150
12	C3	GT.BGC006	0.3356	AAAC	35
13	C3	C4	0.07209	AAAC	150
14	C4	GT.BGC007	0.08229	AAAC	150
15	GT.BGC007	GT.BGC008	0.0015	AAAC	150
16	GT.BGC008	GT.BGC035	0.14472	AAAC	150
17	GTBGC035	GT.BGC036	0.0015	AAAC	150
18	C4	C5	0.11895	AAAC	35
19	C5	GT.BGC009	0.2579	AAAC	35
20	GT.BGC009	GT.BGC010	0.00367	AAAC	35
21	C5	GH AKKARENA	0.06193	AAAC	35
22	GH AKKARENA	GT.BGC011	0.03158	AAAC	35
23	GT.BGC011	GH GTC	0.66304	XLPE	150
24	GH GTC	Tiang Pertama GH	0.35133	XLPE	150
25	Tiang Pertama GH	C6	1.131	AAAC	150
26	C6	C7	0.06393	AAAC	150
27	C7	GT.BGC012	0.13917	AAAC	70
28	C7	GT Telaga Dewi	0.24956	AAAC	70
29	C7	GT Telaga Pelangi	0.14326	AAAC	70
30	C6	GT. BGC037	0.50285	AAAC	150
31	GT BGC037	GT. BGC015	0.40256	AAAC	150
32	GT BGC015	GT. BGC047	0.4887	AAAC	150
33	GT. BGC047	C7	0.12804	AAAC	150
34	C7	GT. BGC017	0.03867	AAAC	150
35	C7	GT. BGC018	0.35536	AAAC	150

36	GT. BGC018	C8	0.37674	AAAC	150
37	C9	GT. BGC019	0.05154	AAAC	150
38	C9	GT. BGC038	0.27265	AAAC	150
39	GT. BGC038	C10	0.04633	AAAC	150
40	C10	GT. BGC020	0.05555	AAAC	150
41	C10	C11	0.1917	AAAC	150
42	C11	GT.BGC022	0.42244	AAAC	70
43	C11	BGTCM_01	0.0471	AAAC	150
44	C9	GT BGC023	0.25764	AAAC	150
45	GT BGC023	C12	0.18737	AAAC	150
46	C12	GB BGC024	0.03514	AAAC	150
47	C12	GB BGC046	0.05896	AAAC	150
48	GT BGC023	GB BGC025	0.09721	AAAC	150
49	GB BGC025	GT. BGC040	0.04519	AAAC	150
50	GT. BGC040	C13	0.01549	AAAC	150
51	C13	GTBGC42	0.02265	AAAC	150
52	C13	C14	0.194096	AAAC	150
53	C14	GT BGC028	0.03725	AAAC	150
54	C14	C15	0.30567	AAAC	150
55	C15	MC BGC026	0.03746	AAAC	150
56	C15	GT BGC027	0.13428	AAAC	150
57	GT BGC027	GB UJBH	0.23544	AAAC	150
58	C14	C16	0.3148	AAAC	150
59	C16	GB BGC032	0.02715	AAAC	150
60	GB BGC032	GB BGC033	0.08852	AAAC	150
61	GT BGC033	BGTC_03	0.19763	AAAC	150
62	C16	GT BGC029	0.1888	AAAC	150
63	GT BGC029	GT BGC031	0.18624	AAAC	150

A. Perhitungan Arus Beban Puncak pada Gardu Distribusi

Data arus yang digunakan untuk perhitungan pada pembahasan ini menggunakan arus pada sisi primer transformator, untuk menghitung arus pada sisi primer transformator digunakan rumus dari persamaan (3).

Sebagai contoh perhitungan Arus dari GT.BGC001 dan GT.BGC003 sebagai berikut:

GT. BGC001, Jl. Metro Tanjung Bunga (The Maple)

Kapasitas Transformator 3 fasa 160 kVA

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \\
 &= \frac{35,09}{\sqrt{3} \times 20} \\
 &= \frac{35,09}{34,6} = 1,01 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Pada tabel 5 berikut ini menunjukkan besar arus beban puncak pada masing-masing gardu yang terdapat pada penyulang GTC:

Tabel 5. Data arus pada Gardu Distribusi penyulang GTC

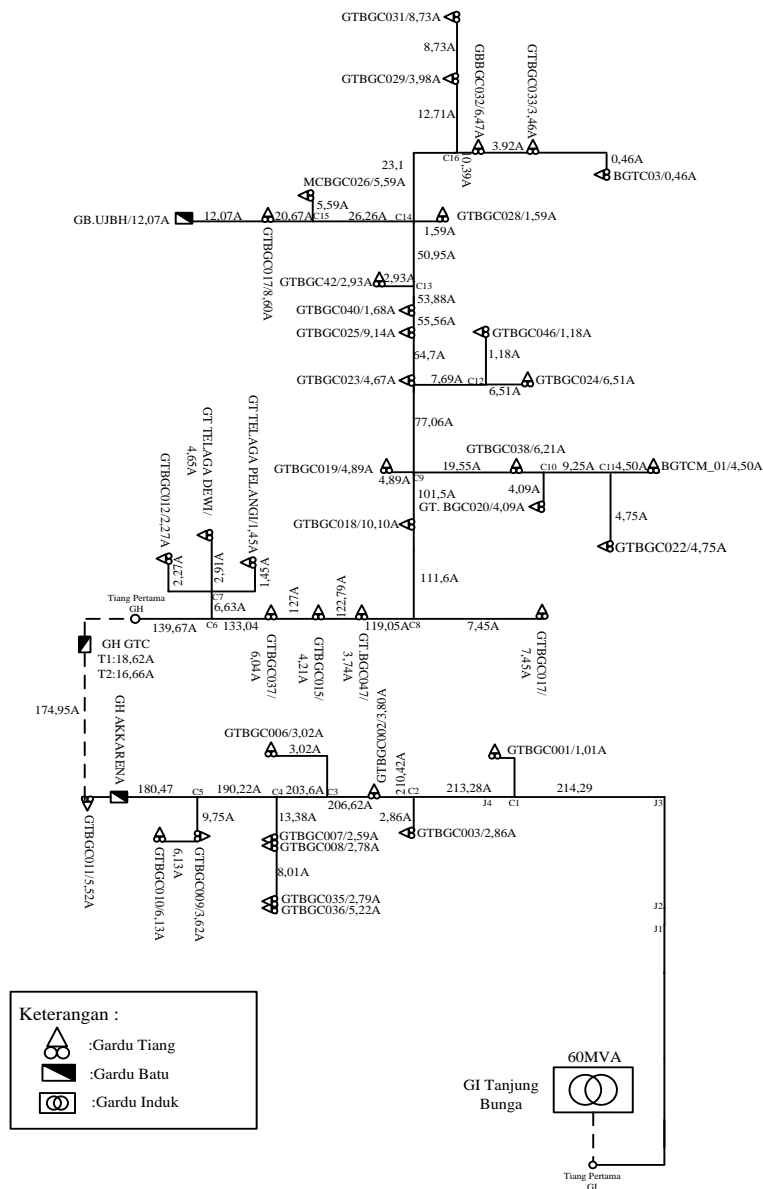
No	Kode gardu	Kapasitas transformator (kVA)	Load (kVA)	Arus (A)
(A)	(B)	(C)	(E)	(F)
1	GT. BGC001	160	35.09	1.01
2	GT. BGC003	100	99.24	2.86
3	GT. BGC002	100	131.61	3.80
4	GT. BGC006	160	104.66	3.02
5	GT. BGC007	250	89.75	2.59
6	GT. BGC008	250	96.40	2.78
7	GT. BGC035	100	96.70	2.79
8	GT. BGC036	160	180.98	5.22
9	GT. BGC009	160	125.55	3.62
10	GT. BGC010	160	212.45	6.13
11	GT. BGC011	160	191.34	5.52
12	GH. GTC	2000	577.00	16.66
13	GH. GTC	2000	645.00	18.62
14	GT. BGC012	100	78.66	2.27
15	GT. BGC013	100	50.32	1.45
16	GT. BGC014	100	100.78	2.91
17	GT. BGC037	200	209.38	6.04
18	GT. BGC015	160	145.78	4.21
19	GT. BGC047	160	129.41	3.74
20	GT. BGC017	400	257.92	7.45
21	GT. BGC018	315	349.74	10.10
22	GT. BGC019	160	169.39	4.89
23	GT. BGC038	250	215.20	6.21
24	GT. BGC020	160	141.63	4.09
25	GT. BGC022	315	164.52	4.75
26	BGTCM_01	200	156.00	4.50
27	GT. BGC023	200	161.68	4.67
28	GT. BGC024	250	225.35	6.51
29	GT. BGC046	160	41.01	1.18
30	GT. BGC025	315	316.48	9.14
31	GT. BGC040	100	58.21	1.68
32	GTBGC042	100	101.49	2.93
33	GT. BGC028	160	55.22	1.59
34	MC. BGC026	200	193.76	5.59

37	GB. BGC032	400	224.12	6.47
38	GT. BGC033	160	119.74	3.46
39	BGTC03	50	16.05	0.46
40	GT. BGC029	250	137.95	3.98
41	GT. BGC031	315	302.34	8.73

B. Diagram Satu Garis Penyulang GTC Beserta Aliran Arusnya

Data arus beban puncak pada tabel 3, digunakan untuk menghitung aliran arus

pada penyulang GTC. Perhitungan ini dimulai dari titik paling jauh dari jaringan kemudian dijumlah sampai pada pangkal Gardu Induk.



C. Perhitungan Jatuh Tegangan dan Rugi-rugi Daya pada Penyulang GTC

Jatuh tegangan pada laporan ini dihitung dimulai dari pangkal (GI) hingga ujung jaringan. Menghitung jatuh tegangan pada penyulang GTC menggunakan rumus pada persamaan (8) dan menggunakan impedansi berdasarkan luas penampang dan jenis penghantar, untuk kabel XLPE menggunakan tabel 2 dan kawat AAAC menggunakan tabel 4. Sedangkan untuk besar persentase jatuh tegangan pada saluran distribusi menggunakan persamaan (10) dengan tegangan 20 kV. Diambil contoh perhitungan jatuh tegangan pada tiang pertama GI.

a. Jatuh tegangan pada tiang pertama (ΔV_{T1})

Dik: $I = 214,29 \text{ A}$

$$\cos \theta = 0,95$$

$$\sin \theta = 0,31$$

$$A = 240 \text{ mm}^2 \text{ (XLPE)}$$

$$Z = 0,125 + j0,097 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$L = 0,05196 \text{ km}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{T1} &= \sqrt{3} \times I \times L (r \cos \theta + x \sin \theta) \\ &= \sqrt{3} \times 214,29 \times 0,05196 (0,125 \\ &\quad \cdot 0,95 + 0,097 \cdot 0,31) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \sqrt{3} \times 214,29 \times 0,05196 (0,14882) \\ &= 2,87 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\% \Delta V_{T1} = \frac{\Delta V}{V} \times 100\%$$

$$= \frac{2,87}{20000} \times 100\% = 0,014\%$$

Jatuh tegangan dilihat pada titik beban yang letaknya paling jauh yaitu :

Tabel 6. Hasil Perhitungan Jatuh Tegangan Penyulang GTC

NO.	KODE GARDU	Jatuh Tegangan		Tegangan Ujung (Volt)
		(ΔV)	(%)	
1	GB.UJBH	626.93	3.135	19373.07
2	BGTC_03	623.92	3.120	19376.08
3	GT.BGC031	625.68	3.128	19374.32

Berdasarkan tabel 6, perhitungan jatuh tegangan pada penyulang GTC dilihat pada gardu yang paling jauh dari jaringan yaitu GT. BGC031, BGTC_03 dan GB.UJBH.

Jatuh tegangan yang terjadi pada GT. BGC031 adalah 625,68 Volt atau sebesar 3,128 % dengan tegangan ujung sebesar 19374,32 Volt, jatuh tegangan yang terjadi pada BGTC_03 adalah sebesar 623,92 volt

tegangan terbesar terjadi pada gardu GB.UJBH dengan jatuh tegangan sebesar 626,93 Volt atau sebesar 3,135 % dengan tegangan ujung sebesar 19373,07 Volt.

Jika dibandingkan dengan perhitungan menggunakan simulasi ETAP, didapatkan hasil tegangan ujung pada GT. BGC031 sebesar 19001 Volt, jatuh tegangan pada BGTC_03 sebesar 19003 Volt, dan jatuh tegangan pada GB. UJBH sebesar 19001 Volt. Dari ketiga hasil perhitungan dapat dilihat adanya perbedaan antara hasil perhitungan manual (Excel) dan simulasi ETAP. Hal tersebut disebabkan karena terdapat banyak parameter-parameter yang diperhitungkan dan bersifat spesifik (sesuai keadaan di lapangan) pada simulasi ETAP. Misalnya, nilai % impedansi dan X/R yang i-rugi daya dari GI Tanjung Bunga sampai tiang pertama GI adalah sebagai berikut:

a. Rugi-rugi Daya pada Tiang Pertama (ΔP_{T1})

Dik: $I = 214,29 \text{ A}$

$\cos \theta = 0.95$

$\sin \theta = 0.31$

$A = 240 \text{ mm}^2 \text{ (XLPE)}$

$Z = 0.125 + j0.097 \text{ } \Omega/\text{km}$

$L = 0,05196 \text{ km}$

$$\Delta P_{T1} = 3 \cdot I^2 \cdot L \cdot r$$

$$= 3 \times (214,29)^2 \times 0,05196 \times 0,125$$

$$= 894,76 \text{ W}$$

$$\% \Delta P_{T1} = \frac{894,76}{5951529} \times 100\%$$

$$= 0,015\%$$

ETAP.

Pada perhitungan manual (Excel) parameter yang dibutuhkan memiliki nilai yang konstan, seperti nilai impedansi sesuai tabel standar SPLN yang berlaku serta faktor daya yang konstan. Jatuh tegangan yang terjadi akan menyebabkan tegangan pada bus berkurang sehingga berakibat terjadinya penurunan daya seiring turunnya tegangan.

Perhitungan rugi-rugi daya pada penyulang GTC menggunakan rumus pada persamaan (12), untuk menghitung besar persentase rugi-rugi daya pada saluran menggunakan persamaan (13) dengan daya total yang disalurkan sebesar 5951,529 kW.

Diambil contoh perhitungan rugi

Rugi-rugi daya dilihat pada titik beban yang letaknya paling jauh yaitu :

Tabel 7. Hasil perhitungan rugi-rugi daya penyulang GTC

NO.	KODE GARDU	Rugi-rugi Daya (ΔP)		
		Per gardu (Watt)	(Watt)	(%)
1	GB.UJBH	22.25	118,059.73	1.984
2	BGTC_03	0.03	117,975.32	1.982
3	GT.BGC031	9.21	118,001.50	1.983

Dari tabel 10 dapat dilihat rugi-rugi daya pada penyulang GTC yaitu sebesar 117975,32 Watt dan 1,982 % pada gardu BGTC_03, sebesar 118001,50 Watt atau sebesar 1,983 % pada GT.BGC031 dan rugi-rugi daya terbesar terjadi pada gardu GB.UJBH yaitu sebesar 118059.73 Watt atau sebesar 1,984 %. Rugi-rugi daya ini tidak dihitung menggunakan simulasi ETAP seperti pada jatuh tegangan disebabkan yang terbaca pada simulasi tersebut hanya *Branch Looses* dan tidak dapat menampilkan rugi-rugi daya per salurannya.

D. Perbaikan Jatuh Tegangan dan Rugi-rugi Daya pada Penyulang GTC

Pada metode ini perbaikan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya dilakukan dengan mengganti jenis penghantar penyulang yang telah ada dengan

penghantar penyulang yang baru. Penghantar penyulang yang akan digunakan adalah penghantar yang mempunyai nilai impedansi yang lebih kecil dengan luas penampang yang lebih besar. Penghantar yang akan digunakan adalah kabel XLPE dengan luas penampang 300 mm² dan kawat AAAC dengan luas penampang 240 mm².

Menghitung perbaikan jatuh tegangan ini menggunakan persamaan yang sama dengan menghitung jatuh tegangan yaitu persamaan (9) dan untuk besar persentase jatuh tegangan juga menggunakan persamaan (10) dengan tegangan menengah 20 kV.

Berikut ini adalah nilai jatuh tegangan dan rugi-rugi daya pada penyulang GTC setelah dilakukan perbaikan dengan pergantian penghantar pada tabel 8 dan tabel 10.

Tabel 8. Hasil perhitungan jatuh tegangan setelah pergantian penghantar pada penyulang GTC

NO.	KODE GARDU	Jatuh Tegangan		Tegangan Ujung (Volt)
		(ΔV)	(%)	
1	GB.UJBH	433.13	2.166	19566.87
2	BGTC_03	430.92	2.155	19569.08
3	GT.BGC031	432.21	2.161	19567.79

Pada tabel 8 metode perbaikan yang digunakan adalah mengganti luas penampang penghantar dengan luas penampang yang lebih besar seperti yang dijelaskan sebelumnya. Untuk gardu BGTC_03 sebelum perbaikan memiliki nilai tegangan kirim pada ujung jaringan sebesar 19376,08 Volt, setelah dilakukan perbaikan adalah sebesar 19569,08 Volt, maka dengan melakukan perbaikan dengan penggantian penghantar jatuh tegangan pada gardu BGTC_03 berkurang hingga 193 Volt.

Untuk gardu GT.BGC031 sebelum perbaikan tegangan kirim pada ujung jaringan sebesar 19374,32 Volt, setelah dilakukan perbaikan dengan adalah sebesar 19567,79 Volt maka dengan melakukan perbaikan dengan pergantian penghantar jatuh tegangan pada gardu GT.BGC031 berkurang hingga 193,47 Volt, sedangkan untuk gardu GB. UJBH sebelum perbaikan memiliki nilai tegangan kirim pada ujung jaringan sebesar 19373,07 Volt, setelah dilakukan perbaikan dengan mengganti penghantar adalah sebesar 19566,87 Volt maka dengan melakukan perbaikan dengan

pergantian penghantar jatuh tegangan pada gardu GT.BGC031 berkurang hingga 193,8 Volt.

Untuk simulasi ETAP tegangan kirim sebelum perbaikan pada gardu BGTC_03 adalah 19003 Volt dan setelah perbaikan adalah 19283 Volt dengan melakukan perbaikan dengan pergantian penghantar jatuh tegangan pada gardu BGTC_03 berkurang sampai 280 Volt. Sedangkan gardu GT.BGC031 adalah 19001 Volt dan setelah perbaikan adalah 19282 Volt dengan melakukan perbaikan dengan penggantian penghantar jatuh tegangan pada gardu GT.BGC031 berkurang sampai 281 Volt sedangkan untuk gardu GB.UJBH adalah sebesar 19001 Volt dan setelah perbaikan adalah 19282 Volt dengan melakukan perbaikan dengan pergantian penghantar jatuh tegangan pada gardu GB. UJBH berkurang sampai 281 Volt Tabel perbandingan sebelum dan sesudah perbaikan jatuh tegangan dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan tegangan ujung sebelum dan setelah perbaikan pada pe nyulang GTC

Kode Gardu	Tegangan Ujung (Volt)			
	Sebelum Perbaikan		Setelah perbaikan	
	Manual (Excel)	ETAP	Manual (Excel)	ETAP
BGTC_03	19376.08	19003	19569,08	19283
GT.BGC031	19374.32	19001	1956,79	19282
GB. UJBH	19373,07	19001	19566,87	19282

Perhitungan perbaikan rugi-rugi daya menggunakan persamaan (12) dan untuk besar persentase rugi-rugi daya pada saluran menggunakan persamaan (13) dengan daya total yang dikirim sebesar 5951,529 kW. Rugi-rugi daya pada penyulang GTC setelah dilakukan perbaikan dengan pergantian penghantar pada tabel 10.

Tabel 10. Rugi-rugi daya setelah pergantian penghantar pada penyulang GTC

NO.	KODE GARDU	Rugi-rugi Daya (ΔP)		
		Per gardu (Watt)	(Watt)	(%)
1	GB.UJBH	13.83	65,626.91	1.102
2	BGTC_03	0.02	65,574.44	1.102
3	GT.BGC031	5.72	65,590.71	1.102

Seperti yang terlihat pada tabel 10 dengan menggunakan metode pergantian penghantar pada penyulang GTC maka nilai rugi-rugi daya akan berkurang. Untuk BGTC_03 sebelum perbaikan sebesar 117975,32 Watt, dan setelah perbaikan menjadi 65574,44 Watt, perbaikan dengan pergantian penghantar pada gardu BGTC_03 berkurang sampai 52400,88 Watt. Sama halnya dengan GT BGC031 sebelum perbaikan sebesar 118001,50 Watt, namun setelah perbaikan nilainya menjadi 65590,71 Watt, dengan perbaikan

pergantian penghantar rugi-rugi daya pada gardu GT.BGC031 berkurang sampai 52410,79 Watt.

Untuk gardu GB.UJBH sebelum perbaikan, nilai rugi-rugi daya sebesar 118059,73 Watt, setelah perbaikan nilainya menjadi 65626,91 Watt, dengan perbaikan pergantian penghantar rugi-rugi daya pada gardu GB.UJBH berkurang sampai 52432,82 Watt. Tabel perbandingan sebelum dan setelah perbaikan rugi-rugi daya dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan rugi-rugi daya sebelum dan setelah perbaikan pada penyulang GTC

Kode Gardu	Rugi-rugi Daya (Watt)	
	Sebelum Perbaikan	Setelah perbaikan
BGTC_03	117975,32	65574,44
GT.BGC031	118001,50	65590,71
GB. UJBH	118059,73	65626,91

KESIMPULAN

1. Jatuh tegangan yang terjadi pada penyulang GTC pada ketiga titik beban: yang paling jauh yaitu GT. BGC031 dengan jatuh tegangan sebesar 625,68 Volt atau 3,128 %, BGTC_03 sebesar 623,92 Volt atau 3,120 %, dan jatuh tegangan terbesar terjadi pada gardu GB.UJBH sebesar 626,93 Volt atau sebesar 3,135 %.
2. Rugi-rugi daya pada penyulang GTC yaitu sebesar 117975,32 Watt atau 1,982 % pada gardu BGTC_03, sebesar 118001,50 Watt atau sebesar 1,983 % pada GT.BGC031 dan rugi-rugi daya terbesar terjadi pada gardu GB.UJBH yaitu sebesar 118059,73 Watt atau sebesar 1,984 %.
3. Dengan melakukan pergantian penghantar kawat AAAC menjadi 240 mm² dan kabel XLPE menjadi 300 mm², maka jatuh tegangan untuk gardu BGTC_03 berkurang hingga 193 V, gardu GT.BGC031 berkurang 193,47 V, gardu GB.UJBH berkurang 193,8 V. Rugi-rugi daya pada gardu BGTC_03 berkurang hingga 52400,88 W, gardu GT.BGC031 berkurang 52410,79 Watt, gardu GB.UJBH berkurang 52432,82 Watt

SARAN

1. Sebaiknya jika terjadi pengembangan pada JTM, PT PLN (Persero)

khususnya bidang perencanaan diharapkan secara berkala menghitung besar jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang terjadi pada JTM agar dapat mengantisipasi terjadinya jatuh tegangan dan rugi-rugi daya yang semakin besar.

2. Sebaiknya menggunakan penghantar yang luas penampangnya lebih besar agar jika terjadi penambahan beban JTM di masa yang akan datang, agsr jatuh tegangan dan rugi-rugi yang terjadi dapat diminimalkan.
3. Sebaiknya dilakukan pengecekan ulang pada besar beban setiap trafo distribusi sehingga dapat dilakukan pemeliharaan pada transformator distribusi agar pembebanan transformator tidak melebihi batas yang telah ditentukan yaitu 80 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Dwi Cahyanto, Restu. 2008. *Studi Perbaikan Kualitas Tegangan dan Rugi-Rugi Daya pada Penyulang Pupur dan Bedak menggunakan Bank Kapasitor, Transformator Pengubah Tap dan Penggantian Kabel Penyulang*. Skripsi.Fakultas Teknik Elektro .Universitas Indonesia.
- Ek Bien ,Liem, Ishak Kasim dan Erni Aprianti Pratiwi.2009.*Analysis Of Power Rugi-rugi daya Calculation In Medium Voltage Network of Feeder Serempi,PAM 1 and PAM 2 at Network Area Gambir PT PLN*

(persero) *Distribution Jakarta Raya and Tangerang*. Jurnal. Jurusan Teknik Elektro-FTI, Universitas Trisakti.

Kadir, Abdul. 2006. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Universitas Indonesia.

Malik, Nasir. 2009. *Analisis Loses Jaringan Distribusi Primer Penyulang Adhyaksa Makassar*. Jurnal. Jurusan Teknik Elektro-FT, UNM.

PLN Corporate University. *Desain Kriteria Jaringan Distribusi*. PT PLN (persero) PUSDIKLAT : Udiklat Pandaan.

Pusat Pendidikan dan Pelatihan PT PLN (persero). *Teknik Listrik Terapan Dan Konsep Dasar Jaringan Distribusi*.

Sariadi, Daryanto dan Koko Budi. 1999. *Jaringan Distribusi Listrik*. Bandung: Angkasa.

SPLN 1.1995. *Tegangan- Tegangan Standar*. Perusahaan Umum Listrik Negara: Kebayoran Baru, Jakarta.

SPLN 72. 1987. *Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)*. Perusahaan Umum Listrik Negara: Kebayoran Baru, Jakarta.

SPLN 64, 1985. *Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. Perusahaan Umum Listrik Negara: Kebayoran Baru, Jakarta.

Suswanto, Daman. 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Teknik Elektro. Universitas Negeri Padang.